

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-18159

(43)公開日 平成8年 (1996) 1月19日

(51)Int. Cl.⁴

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 12 頁)

(21)出願番号	特願平7-41583	(71)出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22)出願日	平成7年 (1995) 3月1日	(72)発明者	田中 俊明 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株 式会社日立製作所中央研究所内
(31)優先権主張番号	特願平6-86170	(72)発明者	内田 憲治 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株 式会社日立製作所中央研究所内
(32)優先日	平6 (1994) 4月25日	(72)発明者	皆川 重量 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株 式会社日立製作所中央研究所内
(33)優先権主張国	日本 (J P)	(74)代理人	弁理士 小川 勝男

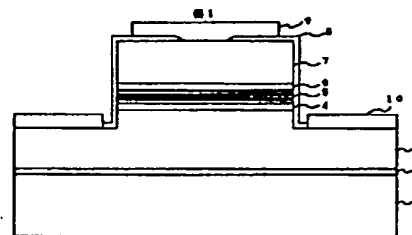
(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその作製方法

(57)【要約】

【目的】 本発明の目的は、青緑色から紫色に相当する短波長半導体レーザ素子をGaInN/AlGaIn材料系において実現するために、レーザダイオードに必須である共振器構造を形成する技術を提供することにある。

【構成】 Diamond や Zinc Blende 結晶構造を有する半導体基板上又は六方晶系のWurtzite結晶構造を有する半導体もしくはセラミックス単結晶基板 1 上に、AlGaIn 材料系からなる導波路構造 3～7 に対して共振器面を劈開法及び選択成長技術を用いることにより、基板に対して垂直でかつ原子オーダーの良好な平坦性をもつ共振器面を形成する。

【効果】 この共振器端面を利用して、室温において光励起及び電流注入によってレーザ発振を達成でき、発振波長は420～440nmの範囲であった。



【特許請求の範囲】

【請求項1】単結晶基板上に設けた半導体発光素子において、用いる基板が六方晶系のWurtzite結晶構造を有する半導体もしくはセラミックス単結晶基板であり、かつ基板面指数を(0001)C面ジャストとし、該基板上に導波路構造を設けて共振器面を形成する際に、ストライプ状共振器を該基板の結晶面(11-20)A面に対して平行な方向に設けておき、該基板の(11-20)A面に対して垂直な方向に劈開法を用いて該基板の(0001)C面に対して垂直な面を切り出してこの面を両端に相対して平行に設けた共振器を形成することを特徴とする半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項2】上記導波路構造はAlGaIn材料からなることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項3】該基板上にAlGaIn材料からなる導波路構造の共振器面をAlGaIn材料の結晶面(11-20)A面になるように形成したとき、この共振器面は該基板の結晶面(11-20)A面に対して垂直であることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項4】単結晶基板上に設けた半導体発光素子において、用いる基板を(0001)C面ジャストの結晶面を有した六方晶系の半導体もしくはセラミックス単結晶基板として、この基板上にストライプ状共振器の方向を該基板の(11-20)A面に対して垂直な方向に設けておき、該基板面の結晶面(0001)C面に対して垂直な相平行する側面を選択結晶成長技術により形成して共振器面としたとき、この側面を該基板の(11-20)A面に対して平行に設定し、両端に相対して平行に設けた共振器面を形成することにより、誘導放出光を増幅してレーザ発振を得ることを特徴とする半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項5】該基板上に設けた導波路構造における少なくとも共振器両端面近傍に相当する領域が六角柱状の光導波層からなり、六角柱光導波層の側面が該基板の結晶面(0001)C面に対して垂直でありかつその側面は両端面において相向かう一対の平行な面を形成しており、この一対の両端面を共振器面とすることを特徴とする請求項4記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項6】該基板上に設けた導波路構造は共振器全体にわたって六角柱状光導波層の組み合わせによりなることを特徴とする請求項4記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項7】該基板上にAlGaIn材料からなる導波路構造を選択結晶成長技術により形成し、該基板に垂直である側面を設けたときに、形成される共振器両端面をAlGaIn材料の結晶面(10-10)M面に設定してあることを特徴とする請求項4記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項8】特許請求項目第4から7項記載事項において、該ストライプ状共振器のパターンは絶縁膜をマスクとして用いることにより形成し、絶縁膜のマスクパター

ン以外に選択的にAlGaIn材料を結晶成長することにより、共振器導波路構造を作製することを特徴とする請求項4記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項9】該発光活性層は格子歪を導入した歪量子井戸層により構成した単一或は多重歪量子井戸構造であることを特徴とする請求項1又は4記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項10】少なくとも共振器端面近傍に設けた六角柱状の導波路構造内では、歪量子井戸構造発光活性層の実効的な量子単位間エネルギーが共振器内部領域より大きい値を有しており、共振器内部の導波路構造を伝播するレーザ光に対して共振器端面近傍における六角柱状の導波路構造は光吸収のない透明領域となっていることを特徴とする請求項4記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項11】共振器端面近傍に設けた六角柱状の導波路構造内では、歪量子井戸構造発光活性層の実効的な量子単位間エネルギーが共振器内部領域より少なくとも60meV以上大きい値を有していることにより、共振器内部の導波路構造を伝播するレーザ光に対して共振器端面近傍領域が透明領域となっていることを特徴とする請求項10記載の半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項12】Wurtzite構造を有する半導体基板上に形成された導波路共振器構造を有する半導体レーザ素子において、上記導波路共振器の端面は結晶面方向が(11-20)A面であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項13】上記導波路共振器構造はAlGaIn材料からなることを特徴とする請求項12記載の半導体レーザ素子。

【請求項14】Wurtzite構造を有する半導体基板上に形成された導波路共振器構造を有する半導体レーザ素子において、上記導波路共振器の端面は結晶面方位が(10-10)M面であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項15】上記導波路共振器構造はAlGaIn材料からなることを特徴とする請求項14記載の半導体レーザ素子。

【請求項16】半導体もしくはセラミックス単結晶基板上に設けた禁制帯幅の大きな光導波層に挟まれた禁制帯幅の小さな発光活性層を有した異種二重接合構造において、レーザ光の導波路構造を少なくとも六角柱状の該光導波層により構成しており、該発光活性層の形状は該光導波層と同じく六角柱状であるか或は該光導波層の形状の中に埋め込まれた形であり、六角柱の導波路形状のうち六角形を構成する六つの側面は該基板面に対して垂直であり、これらの側面全て或は相対する二つの面同志をレーザ光に対する共振器ミラーとすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項17】上記発光活性層を埋め込んだ該光導波層の形状や該発光活性層の形状が正六角柱を構成しており、導波光を正六角柱形状の光導波路構造に伝播させ、

上記六角柱それぞれの面のうち相平行する面をFabry-Pérot共振器のミラーとし、これに導波光を反射させて増幅することによりレーザを発振させることを特徴とする請求項16に記載の半導体レーザ素子。

【請求項18】上記基板が立方晶系のDiamond或いはZinc Blende構造を有するときには、基板面方位が(001)面から 54.7° 傾いた(111)面を有しているか或は(111)面から $0\sim 30^\circ$ 範囲のオフ角度を有しており、該基板が六方晶系のWurtzite構造を有するときには、基板面方位が(0001)C面から $0\sim 30^\circ$ 範囲のオフ角度を有していることを特徴とする請求項16又は17に記載の半導体レーザ素子。

【請求項19】上記発光活性層は直方体の形状であり、かつ正六角柱状の該光導波層が該発光活性層を埋め込んだ導波路構造を構成しており、正六角形をなす該光導波層の六つの側面が基板面に対して垂直であることを特徴とする請求項16乃至18のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項20】上記発光活性層と該光導波層は直方体形状の導波路構造を構成しており、共振方向となる導波路構造長手方向の両端面は正六角形をなす六面のうち三つの側面によりなっており、両端の三つの側面は基板面に対して垂直であり、少なくとも三つの側面のうち真中の面同志は長手方向の両端面となるようにあいたいて平行であり、相対する面同志は基板面に対して垂直であることを特徴とする請求項16乃至19のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項21】上記発光活性層と該光導波層は真中に直方体状の形状と共振方向となる導波路構造長手方向の両端に正六角柱状の形状が隣接して組合わさった導波路構造を構成しており、両端の正六角柱導波路形状のうち六つの側面が基板面に対して垂直であり、少なくとも長手方向の両端面となる相対する面同志は基板面に対して垂直であることを特徴とする請求項16乃至20のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項22】上記光導波層と少なくとも該発光活性層は選択成長により形成し、直方体状や正六角柱状の導波路構造を構成しており、正六角柱状の側面は基板に対して垂直であり少なくとも共振器となる両端面は基板面に対して垂直であることを特徴とする請求項16乃至21のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項23】上記発光活性層は格子歪を導入した歪量子井戸層により構成した単一或は多重歪量子井戸構造であることを特徴とする請求項16乃至22のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項24】共振器端面近傍に設けた正六角柱状の導波路構造では、歪量子井戸構造である該発光活性層の実効的な量子単位間エネルギーが共振器内部領域におけるより大きい値を有しており、共振器内部の直方体状導波路構造を伝播するレーザ光に対して共振器端面近傍にお

ける正六角柱状の導波路構造は光吸収のない透明領域となっていることを特徴とする請求項21又は22に記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光情報端末或は光応用計測用に適する光源について述べており、特に短波長半導体レーザ素子及びその作製方法に関する。

【0002】

10 【従来の技術】従来の技術では、GaInN/AlGaIn材料を用いた青色発光ダイオードを構成する素子構造については、例えば公知例1)アブライド・フィジックス・レター1994年、64巻、1687-1689頁(Appl. Phys. Lett., 64, 1687-1689(1994).)において述べられている。

【0003】

20 【発明が解決しようとする課題】上記従来技術では、窒素系材料を用いた青色発光ダイオードに適する発光活性層や光導波層の構成について言及しているが、レーザダイオードに必要な共振器構造を形成して誘導放出光を増幅することにより、レーザ発振を得ることに内容について述べていない。

30 【0004】本発明の目的は、窒素系材料を用いたダイオード特性を有する発光素子において、六方晶系Wurtzite結晶構造をもち(0001)C面ジャストの結晶面を有した半導体もしくはセラミックス単結晶基板上に、AlGaIn材料からなる共振器構造を作製し、共振器内部に発生した誘導放出光を増幅することによりレーザ発振を可能とするものである。特に本発明では、青緑色から紫色に相当する短波長半導体レーザ素子をAlGaIn材料系において実現するために、従来注目されていなかった素子作製技術を述べ、少なくともレーザダイオードに必須である共振器構造を形成する技術を提案する。これにより、レーザ発振に必要な原子オーダーで良好な平坦性を有した共振器面をさらに歩留まりよく作製でき、かつその端面反射率を安定して得ることを目的とする。また、共振器端面近傍において禁制帯幅の大きな導波路構造領域を端面透明領域として設定することにより、高出力レーザ動作を可能にする。

40 【0005】また本発明の他の目的は、半導体レーザにおいて新しいレーザ共振器構造や導波路構造を提供するものであり、埋め込み構造により端面透明構造とした高出力動作を達成することにある。特に本発明では、青緑色から紫色に相当する短波長半導体レーザ素子をGaInN/AlGaIn材料系において実現するために、従来試みられていない技術であり、少なくともレーザダイオードに必須である共振器構造を形成する方法を提案し、さらに横モードを制御する屈折率導波埋め込み構造や高出力動作に必要な端面透明構造を形成することにより、青緑色から紫色を示すGaInN/AlGaInレーザの高出力動作を達成す

50 る。

[0006]

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段を以下に説明する。

【0007】本発明では、用いる基板を六方晶系のWurtzite結晶構造を有する半導体もしくはセラミックス単結晶基板としたときに、該基板の性質を利用して原子オーダーで平坦性良好な共振器面を劈開技術により形成するか、或いは該基板上の方向に依存して成長する窒素化合物単結晶の形状を利用した選択成長技術により形成する。

【0008】劈開技術によってレーザの共振器面を作製するときには、基板面方位を指定し、かつその上に結晶成長して形成する共振器の方向とそれに対して劈開する方向を規定する。

【0009】結晶成長における選択成長技術によってレーザの共振器面を作製するときには、基板面方位を指定し、かつその上に結晶成長して形成する共振器方向を規定し、さらに基板に対して垂直な側面を形成できる選択結晶成長条件を用いる。また、領域選択成長を利用することにより、面積の狭い領域と広い領域において結晶成長速度が異なることをもとにして、領域により量子井戸構造或は歪量子井戸構造の量子単位エネルギーの高低を制御する。

[0010]

【作用】上記を目的として本発明では、(0001)C面ジャストの結晶面を有したWurtzite構造を有する半導体基板SiCやセラミックス基板 Al_2O_3 等の単結晶基板上に、AlGaInN材料からなる導波路構造を作製した後、劈開技術により共振器面を形成するか、或いは該基板上に選択成長技術により結晶成長した窒素化合物単結晶の形状を利用して共振器を形成し、共振器内部で発生した誘導放出光を増幅してレーザ発振を可能とした。

【0011】劈開技術により共振器面を作製する際に、上記基板を用いてAlGaInN材料からなる導波路共振器構造を該基板の結晶面(11-20)A面に対して平行な方向に設け、かつ該基板の(11-20)A面に対して垂直な方向に劈開を行うことによって、原子オーダーで平坦性良好な共振器面を形成することができることを見出した。このように基板面と共振器及び劈開方向を規定することにより、劈開法を用いてAlGaInN材料の結晶面(11-20)A面を基板の(0001)C面に対して垂直な共振器面として切り出すことができ、高い歩留り80~90%をもって劈開共振器の作製が達成できた。端面のもつ反射率は、端面保護膜を施していない状態で18%から20%の範囲であった。これらは、発光活性層の屈折率から算出される値に相当するものである。

【0012】また選択成長技術により共振器面を作製する際に、上記基板上において六角形状のパターン領域にAlGaInN材料の選択成長を行うと、結晶成長条件によって側面を基板の(0001)C面に対して垂直に形成できる六角柱状の構造を作製できることを見出した。このことを

利用して、少なくとも共振器を形成する両端面近傍に六角柱状の領域を設け、両端にある六角柱の側面のうち相向かい平行となる2つの面を共振器面とすることができる。このとき、該共振器の方向を該基板の(11-20)A面に対して垂直な方向に設けておき、相向かい平行となる2つの六角柱の側面は該基板の(11-20)A面に対して平行であるように設定する。選択成長技術による共振器面は、AlGaInN材料の結晶面(10-10)M面に相当する。この結晶面(10-10)M面は、上記のような六角柱構造における基板に対して垂直な側面として形成される。パターン精度のよい選択成長を行える結晶成長条件は、成長する材料や原料の性質に合わせて制御することに基づく。例えば、成長温度を比較的低く、また原料供給比V族元素とIII族元素の比V/IIIを比較的大きくしていったときに、絶縁膜 SiO_2 やSiNにより形成した正六角形のパターン領域に対して上記のような六角柱構造の側面を基板の(0001)C面に対して垂直に形成できるようになる。この領域選択成長により、レーザ共振器構造を形成すると同時に、導波路構造を作製する際に、発光活性層の発振波長制御や端面透明導波路領域の波長を制御できる。選択成長の特徴として、パターン領域の形状や幅及び面積によって成長速度を制御できることが挙げられる。パターンの広い領域では成長速度が遅くなり、相対的にパターンの狭い領域では成長速度が速くなる。このことを利用して、発光活性層を量子井戸構造としたとき、共振器内部において幅の狭いパターン領域を形成しておけば厚膜の量子井戸層となり、共振器端面近傍では六角形状の広いパターン領域を形成しておき薄膜の量子井戸層を得る。即ち、共振器内部の導波路領域では発光活性層内における量子単位のエネルギーが低く実効的な禁制帯幅は小さくなり、共振器端面近傍の導波路領域では発光活性層における量子単位のエネルギーが高く共振器内部とは逆に実効的な禁制帯幅は大きくなる。共振器端面近傍は、その禁制帯幅エネルギーが共振器内部に導波されたレーザ光のエネルギーよりも大きくなるため、端面透明構造としての役割を果たす。

【0013】上記六角柱の導波路共振器構造において、六つの側面をすべて共振器面とするときには、正六角形のパターン領域を利用して作製し、リングレーザの共振器面とすることができる。また、六角柱構造の上下面も相平行した面とすることができるので、面発光レーザの垂直共振器面としても適用可能である。

【0014】Wurtzite構造を有する半導体基板SiCやセラミックス基板 Al_2O_3 、ZnO、MgO及びMnO等の(0001)C面の他に、Diamond構造やZinc Blende構造を有する半導体基板Si、GaAs、GaP及びInP等の(111)面〔(001)面から54.7°傾いた面〕を用いることができる。

【0015】結晶成長の際に、成長する材料や原料の性質に合わせて結晶成長条件を制御することや、具体的には成長温度を比較的低く、また原料供給比を例えばV族

元素とIII族元素の比V/IIIで示すとV/IIIを比較的大きくしていったときに、絶縁膜 SiO_2 や SiN により形成した正六角形のパターン領域に対して上記基板に垂直な六角形側面を選択成長により作製可能となる。この領域選択成長により、レーザ共振器構造を形成すると同時に、導波路構造を作製でき、さらにはこれらを埋め込んだ構造より端面透明構造を作製できる。

【0016】

【実施例】

（実施例1）本発明の一実施例を図1、2により説明する。まず図1において、(0001)C面ジャストの結晶面を有するサファイア Al_2O_3 基板1を用いて、その上にGa N バッファ層2($d=0.01\sim0.03\mu\text{m}$)、 n 型Ga N 光導波層3($d=4\sim6\mu\text{m}$, $N_D=5\times10^{17}\sim9\times10^{17}/\text{cm}^3$)、 n 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 光導波層4($d=0.03\sim0.05\mu\text{m}$, $N_D=3\times10^{17}\sim7\times10^{17}/\text{cm}^3$)、アンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ($d=5\sim10\text{nm}$)圧縮歪量子井戸層とアンドープGa N ($d=5\sim10\text{nm}$)量子障壁層からなる多重量子井戸活性層5、 p 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 光導波層6($d=0.03\sim0.05\mu\text{m}$, $N_A=3\times10^{17}\sim7\times10^{17}/\text{cm}^3$)、 p 型Ga N 光導波層7($d=0.5\sim0.9\mu\text{m}$, $N_A=7\times10^{17}\sim3\times10^{18}/\text{cm}^3$)をまず有機金属気相成長(MOCVD)法によってエピタキシャル成長した。その後、図2に示すように、基板の(11-20)A面と平行な方向にストライプ方向を決定し、その方向に共振器導波路構造ができるように、図1において層3の途中に到るまで層7から層3をエッチング除去する。次に、絶縁膜を用いて、電流狭窄層8を形成する。さらに、ホトリソグラフィ技術と電子線加熱蒸着により p 側電極9及び n 側電極10を形成した後、図2において波線で示した方向、つまり基板の(11-20)A面に対して垂直な方向に、劈開法を用いて劈開共振器面を形成することにより、図1に示す素子断面を得る。この共振器面は、上記導波路構造を形成する窒素化合物において、結晶面(11-20)A面に相当する。次に、スクライプして素子を切り出して分離する。

【0017】本実施例では、基板面と共振器及び劈開方向を規定し劈開法を用いることにより、 AlGaInN 材料の結晶面(11-20)A面を基板の(0001)C面に対して、垂直でかつ原子層オーダーの良好な平坦性を有する共振器面として切り出すことができた。さらに、80~90%の高い歩留りをもって劈開共振器を作製でき、このときの端面反射率は、端面保護膜を施していない状態で18%から20%の範囲であった。この反射率は、発光活性層の屈折率から算出される値に相当する良好な値である。上記共振器構造によって、共振器内部に発生した誘導放出光を増幅して外部にレーザ光としてとりだすことができた。電極を蒸着する以前には、 He-Cd ガスレーザを用いた光励起を行うことによってレーザ発振する素子を得た。さらに、電極を形成した後には、電流注入によるレーザ発振も可能であり、劈開共振器面から得られる素子の発振波長は420~430nmの範囲であった。

【0018】（実施例2）本発明の他実施例を図3により説明する。本実施例では、層7まで実施例1と同様にしてMOCVD法により結晶成長するが、その後絶縁膜マスクを利用して、ホトリソグラフィとエッチングによりストライプを作製した。次に、 n 型Ga N 電流狭窄埋め込み層11($d=0.6\sim1.0\mu\text{m}$, $N_D=1\times10^{18}\sim3\times10^{18}/\text{cm}^3$)を選択成長し、さらに絶縁膜マスクを除去して、 p 型Ga N コンタクト層12($d=1\sim3\mu\text{m}$, $N_A=7\times10^{17}\sim3\times10^{18}/\text{cm}^3$)を埋め込み成長した。この後、実施例1と全く同様に素子を作製することにより、図3の素子断面を得た。

【0019】本実施例では、実施例1と同様に作製した共振器構造によって、共振器内部に発生した誘導放出光を増幅して外部にレーザ光としてとりだすことができた。本素子においても、光励起及び電流注入によってレーザ発振が可能であり、得られた発振波長は420~430nmの範囲で実施例1と同様であるが、光励起による励起光パワー密度や電流注入励起による電流密度において、実施例1の素子よりも1/2から1/3の低閾値で動作するレーザ素子を得た。

【0020】（実施例3）本発明の他実施例を図4

(a)、(b)により説明する。まず図4(a)において、実施例1や2と同様にして、層3までMOCVD法により結晶成長する。その後、絶縁膜とリソグラフィ及びエッチングにより、図4(b)に示した正六角形状のパターンを基板の(11-20)A面とは垂直な方向につなげて並べていったストライプ形状を選択成長用のマスクとして形成する。次に、MOCVD法の選択成長条件を用いて、 n 型Ga N 光導波層13($d=0.1\sim0.2\mu\text{m}$, $N_D=5\times10^{17}\sim7\times10^{17}/\text{cm}^3$)、及び実施例1や2と同様の層4から層12までを結晶成長する。ここで、上記絶縁膜マスクパターン上で、図2において共振器の端面に相当し相向かう正六角形の側面は基板の(11-20)A面に対して平行でかつ基板の(0001)C面に垂直に形成されている。この共振器面は、上記導波路構造を形成する窒素化合物において、結晶面(10-10)M面に相当する。さらに、実施例1や2と同様にして、絶縁膜8や p 側電極9及び n 側電極10を設け、スクライプして素子を切り出して分離する。

【0021】本実施例では、基板面と共振器方向を規定し、選択成長するパターンを工夫することにより、 AlGaInN 材料の結晶面(10-10)M面を基板の(0001)C面に対して、垂直でかつ原子層オーダーの良好な平坦性を有する共振器面として形成することができた。さらに、90~95%の高い歩留りをもって制度のよい共振器面を選択成長技術により作製できた。このときの端面反射率は、端面保護膜を施していない状態で18%から20%の範囲であった。この反射率は、発光活性層の屈折率から算出される値に相当する良好な値である。上記六角柱をつなげた共振器構造によっても、共振器内部に発生した誘導放出光を増幅して外部にレーザ光としてとりだすことが

できた。本素子においても、光励起及び電流注入によってレーザ発振が可能であり、得られた発振波長は420~430nmの範囲で実施例1と同様であるが、光励起による励起光パワー密度や電流注入励起による電流密度において、実施例2の素子と同様であるかもしくはそれよりも低閾値で動作するレーザ素子を得た。

【0022】(実施例4)本発明の他実施例を図5(a), (b)により説明する。本実施例では、実施例3とほぼ同様に素子を作製するが、図5(b)において、絶縁膜とリソグラフィ及びエッチングにより、共振器内部をストレートな導波路構造とし、共振器端面近傍を正六角形状のパターンを基に六角柱状の導波路構造を作製する。ここで、共振器端面近傍の六角柱状導波路構造は、実施例3と同様に作製し、共振器内部のストライプ幅より共振器端面近傍の正六角形状パターン領域幅を広くとる。また、共振器方向は基板の(11-20)A面とは垂直な方向に設定する。この後、実施例3と全く同様にして素子を作製することにより、図5(a)の素子断面を得た。

【0023】本実施例では、実施例3の場合と異なり、共振器内部では、ストライプ幅を狭く調節することにより、歪量子井戸層の膜厚を共振器端面近傍の六角柱領域よりも厚くできる。これにより、共振器端面部の導波路領域の方が共振器内部より活性層の実効的な禁制帯幅を少なくとも60meV以上大きくできた。このことは、共振器端面近傍の正六角柱導波路構造が、共振器内部の導波光に対してほとんど光吸収のない端面透明領域として機能することを示す。上記複合した共振器構造によっても、共振器内部に発生した誘導放出光を増幅して外部にレーザ光としてとりだすことができた。本素子においても、光励起及び電流注入によってレーザ発振が可能であり、得られた発振波長は430~440nmの範囲で実施例3より長波長側であった。本素子は、実施例3と同様の基本特性である上に、実施例3の素子よりも2倍から3倍の高出力動作を得た。

【0024】(実施例5)本発明の他実施例を図6(a), (b)により説明する。本実施例では、図6(a)において層2、アンドープGaIn層14(d=5~6μm)、アンドープGaInN/AlGaND BR構造高反射膜層15、層3を成長した後、図6(b)の六角形状絶縁膜パターンマスクを利用して、実施例3や4の六角柱状導波路構造領域とほぼ同様にして層12まで選択成長するが、最後にアンドープGaInN/AlGaND BR構造高反射膜層16を形成する。次に、リソグラフィ及びエッチングにより、層12に到るまで層16を円柱状に加工する。この後、実施例3や4と全く同様にして素子を作製することにより、図6(a)の素子断面を得た。

【0025】本実施例では、六角柱状導波路構造の平坦な上下面に形成したDBR構造高反射膜層を共振器面とした面発光垂直共振器構造を作製できた。本素子では、

基板側のDBR構造高反射膜層15では反射率99%以上、上面側のDBR構造高反射膜層16では反射率90%以上が得られ、共振器内部に発生した誘導放出光を増幅して光励起及び電流注入によって垂直共振方向にレーザ光を取りだすことが可能であった。得られた発振波長は420~430nmの範囲で、光励起による励起光パワーや電流注入励起による電流において、実施例3や4の素子よりも低閾値で動作するレーザ素子を得た。

【0026】このように本発明では、AlGaInN半導体レーザの共振器面を基板の(11-20)A面に対して垂直方向に劈開技術により作製した場合、基板に対して垂直でかつ原子オーダーの良好な平坦性をもつ共振器端面をAlGaInN結晶の(11-20)A面において歩留良く形成することができた。また、選択成長技術により基板の(11-20)A面に対して垂直方向に共振器を作製し、基板に対して垂直でかつ原子オーダーの良好な平坦性をもつ共振器端面をAlGaInN結晶の(10-10)M面に形成できた。両者において、端面保護膜を施していない状態での端面反射率は18%から20%の範囲であった。これは、活性層の屈折率から算出される値に相当する。本素子では、室温において光励起また電流注入を行ったときに、レーザ動作を得ることができた。素子の発振波長は、420~440nmの範囲であった。

【0027】(実施例6)本発明の他実施例を図7(a), (b), 図8(a), (b)により説明する。(001)面から54.7°の面方位を有した(111)面から0.5°傾いた面を有するn型GaAs基板21を用いて、その上にn型GaAsバッファ層22(d=0.5μm, N_b=1×10¹⁸cm⁻³), n型GaInP光導波層23(d=2.0μm, N_b=1×10¹⁸cm⁻³)をまず有機金属気相成長法(MOCVD)法によってエピタキシャル成長した。その後、絶縁膜SiN層24(d=0.1μm)を蒸着して、図7(b)に示す正六角形状のパターンを形成した。次に、n型GaInAsP光導波層25(d=0.25μm, N_b=5×10¹⁷cm⁻³), アンドープGaAs光分離閉じ込め層26(d=0.05μm), アンドープInGaAs(d=6nm, 歪量1.8%)歪量子井戸層2層と、アンドープGaAs(d=8nm)量子障壁層1層からなる圧縮歪多重量子井戸活性層27, アンドープGaAs光分離閉じ込め層28(d=0.05μm), p型GaInAsP光導波層29(d=0.25μm, N_a=7×10¹⁷cm⁻³)をMOCVDにより選択成長した。

【0028】図7(b)の正六角形状パターンは導波路構造としてそのまま使うことができる。またホトリソグラフィとドライ加工により、ストレートな導波路構造を形成し、このストレートな導波路形状の周囲に対して導波路構造長手方向の両端から5~20μm間隔をあけて、図8(b)に示すように絶縁膜で形成した正六角形のパターンマスクをホトリソグラフィとエッチングにより作製した。次に、p型GaInP層(d=2~3μm, N_a=7×10¹⁷~2×10¹⁸cm⁻³)とp型GaAs層(d=0.2~1.0μm, N_a=5×10¹⁸~1×10¹⁹cm⁻³)による埋め込み層30をMOC

VD法により埋め込み成長した後、ホトリソグラフィーを利用して水素イオンを打ち込んだ電流狭窄領域31を形成した。さらに、p側電極32及びn側電極33を蒸着し、スクライプして図8(a)の断面と図8(b)の上面を有した素子の形を得た。

【0029】本実施例では、共振器長 $1000\mu\text{m}$ の素子が室温における閾値電流 $5\sim 10\text{mA}$ で直流動作し、発振波長は $970\sim 980\text{nm}$ の範囲であった。最大光出力 200mW 以上の高出力動作を得ることができ、最高レーザ発振温度は $150\sim 160^\circ\text{C}$ を得た。動作温度 60°C における光出力 100mW の定出力動作で 2000 時間以上の長期信頼性を達成した。

【0030】(実施例7)本発明の他実施例を実施例6と同様に図7(a), (b), 図8(a), (b)により説明する。(0001)C面から 0.5° 傾いた面を有する Al_2O_3 又は SiC 基板を21'を用いて、その上にGa N バッファ層22'(d=0.01~0.05 μm), n型Ga N 光導波層23'(d=3~5 μm , $N_b=5\times 10^{17}\sim 1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)をまず有機金属気相成長法(MOCVD)法によってエピタキシャル成長した。その後、絶縁膜 SiN 層24'(d=0.1 μm)を蒸着して、図7(b)に示す正六角形状のパターンを形成した。次に、n型Ga N 光導波層25'(d=0.5~1.0 μm , $N_b=5\times 10^{17}\sim 1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), アンダーブAlGa N 光導波層26'(d=0.03~0.05 μm), アンダーブInGa N (d=6nm, 歪量1.8%)歪量子井戸層2層と、アンダーブGa N (d=8nm)量子障壁層1層からなる多重量子井戸活性層27', アンダーブAlGa N 光導波層28'(d=0.03~0.05 μm), p型Ga N 光導波層29'(d=0.25~0.5 μm , $N_a=7\times 10^{17}\sim 1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)をMOCVDにより選択成長した。

【0031】図7(b)の正六角形状パターンは導波路構造としてそのまま使うことができる。またホトリソグラフィーとドライ加工により、ストレートな導波路構造を形成し、このストレートな導波路形状の周囲に対して導波路構造長手方向の両端から $5\sim 20\mu\text{m}$ 間隔をあけて、図8(b)に示すように絶縁膜で形成した正六角形のパターンマスクをホトリソグラフィーとエッチングにより作製した。次に、p型Ga N 埋め込み層30'(d=2~3 μm , $N_b=7\times 10^{17}\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)をMOCVD法により埋め込み成長した後、ホトリソグラフィーを利用して水素イオンを打ち込んだ電流狭窄領域31を形成した。さらに、p側電極32及びn側電極33を蒸着し、スクライプして図8(a)の断面と図8(b)の上面を有した素子の形を得た。材料はことなるが、素子構造は実施例1と同様に作製できた。

【0032】本実施例によると、中央部の導波路構造に導波された誘導放出光の増幅が可能である共振器構造がNitride系材料においても埋め込み構造により形成できた。これにより、電流注入によるレーザ発振が可能であった。発振波長は $420\sim 430\text{nm}$ の範囲であり、青紫色を呈したレーザ光を得た。

【0033】(実施例8)本発明の他実施例を図9(a), (b), 図10(a), (b)により説明する。本実施例では、実施例7とほぼ同様に素子を作製するが、図9(b)において導波路構造を形成する際に、実施例6や7における長方形の絶縁膜パターン長手方向の両端に対して、正六角柱の三つの側面を隣接するように形成しかつ両端面が相対して平行に位置するように設定した。これにより、両端の側面は基板に対して垂直であり、共振器内部の導波光に対して共振器ミラーとなる。その他は、実施例7と全く同様に素子を作製した。最終的には、図10(a)の断面と図10(b)の上面を有した素子の形を得た。

【0034】本実施例では、実施例7と同様に作製した共振器構造によって共振器内部の導波路構造に導波された誘導放出光に対して増幅を行なうことができ、電流注入によるレーザ発振が可能であった。本素子の基本特性は、実施例7とほぼ同様であった。

【0035】(実施例9)本発明の他実施例を図11(a), (b), 図12(a), (b)により説明する。本実施例では、実施例7や8とほぼ同様に素子を作製するが、図11(b)において導波路構造を形成する際に、実施例6や7における長方形の絶縁膜パターン長手方向の両端に対して、正六角柱を隣接するように形成しかつ両端面が相対して平行に位置するように設定した。これにより、両端の側面は基板に対して垂直であり、共振器内部の導波光に対して共振器ミラーとなる。その上、共振器端面近傍における正六角柱領域では、共振器内部のストレートな導波路領域より歪多重量子井戸構造活性層の実効的な禁制帯幅を少なくとも 60meV 以上大きく設定できた。このことにより、共振器端面近傍の正六角柱領域における導波路構造は、共振器内部の導波光に対してほとんど光吸収のない端面透明構造の機能を果たした。その他は、実施例7や8と全く同様に素子を作製した。最終的には、図12(a)の断面と図12(b)の上面を有した素子の形を得た。

【0036】本実施例では、実施例7や8と同様に作製した共振器構造によって、共振器内部の導波路構造に導波された誘導放出光に対して増幅を行なうことができ、電流注入によるレーザ発振が可能であった。本実施例の素子特性は、高出力特性を除いて実施例7や8とほぼ同様であった。本素子は、実施例2や3の素子よりも2倍から3倍の高出力動作を得た。

【0037】(実施例10)実施例9と全く同様の順序とパターン形状により、実施例6のInGaAs/GaAs/GaInP材料を用いてレーザ素子構造を作製した。

【0038】本実施例では、高出力特性以外は実施例6とほぼ同じ基本特性を得た。最大光出力は実施例1よりも大きくでき 400mW 以上の高出力動作を得ることができた。また、動作温度 60°C における光出力 200mW の定出力動作で 2000 時間以上の長期信頼性を達成

した。

〔0039〕

〔発明の効果〕 本発明により、DiamondやZinc Blende構造である立方晶系の半導体基板上だけでなく、Wurtzite構造を有した六方晶系の半導体基板やセラミックス基板上に半導体レーザ素子に必須であるレーザ共振器構造や導波路構造を形成する新しい手段を提供し、埋め込み構造により屈折率導波構造や端面透明構造を形成して高出力動作にも有効な素子構造の実現を可能にした。本発明の実施例では、InGaAs/GaAs/GaNレーザをGaAs(111)面基板上に作製した結果、従来の作製技術による素子よりも低閾値で高出力特性を達成でき、閾値電流は5～10mAであり波長970～980nmの範囲でレーザ発振し、400mW以上の高出力動作を得た。また、GaN/AlGaN材料を用いてAl₂O₃やSiC基板上に圧縮歪多重量子井戸構造活性層を有した異種二重接合構造を形成し、電流注入によるレーザ発振を確認できた。発振波長は420～430nmの範囲であり、青紫色を呈したレーザ光を得た。

〔図面の簡単な説明〕

〔図1〕 本発明の一実施例を示す素子構造断面図。

〔図2〕 本発明の一実施例における共振器方向と劈開方向を示す上面概略図。

〔図3〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

〔図4〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

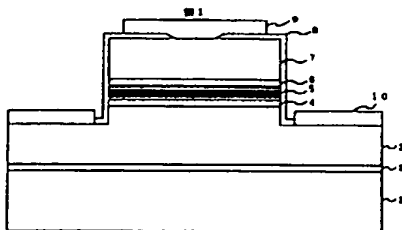
〔図5〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

〔図6〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

〔図7〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

〔図8〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)

〔図1〕



及び上面図(b)。

〔図9〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

〔図10〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

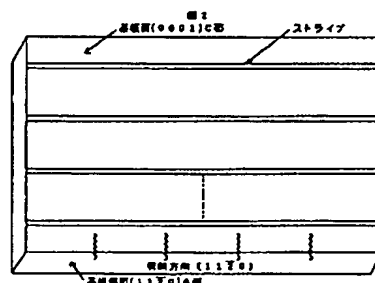
〔図11〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

〔図12〕 本発明の他実施例を示す素子構造断面図(a)及び上面図(b)。

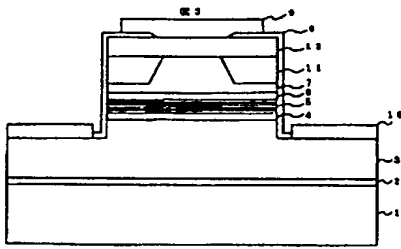
10 〔符号の説明〕

1…(0001)C面を有したAl₂O₃基板、2…アンドープGaNバッファ層、3…n型GaN光導波層、4…n型AlGaN光導波層、5…アンドープGaN/GaN多重量子井戸構造活性層、6…p型AlGaN光導波層、7…p型GaN光導波層、8…絶縁膜、9…p側電極、10…n側電極、11…n型GaN電流狭窄埋め込み層、12…p型GaNコンタクト層、13…n型GaN光導波層、14…アンドープGaN層、15…GaN/AlGaN DBR構造高反射膜、16…GaN/AlGaN DBR構造高反射膜、17…(111)面から0.5°オフしたn型GaAs基板、20 2…n型GaAsバッファ層、3…n型GaInP光導波層、4…絶縁膜SiN、5…n型GaInAsP光導波層、6…アンドープGaAs光分離閉じ込め層、7…InGaAs/GaAs圧縮歪多重量子井戸構造活性層、8…アンドープGaAs光分離閉じ込め層、9…p型GaInAsP光導波層、10…p型GaInP/GaAs埋め込み層、11…(0001)C面から0.5°オフしたAl₂O₃又はSiC基板、21…GaNバッファ層、31…n型GaN光導波層、51…n型GaN光導波層、61…p型AlGaN光導波層、71…アンドープGaN/GaN圧縮歪多重量子井戸構造活性層、81…n型AlGaN光導波層、30 91…p型GaN光導波層、101…p型GaN埋め込み層、111…水素イオン打ち込み電流狭窄領域、12…p側電極、13…n側電極。

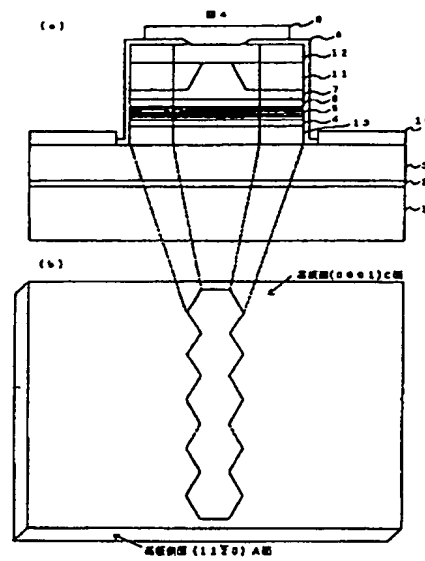
〔図2〕



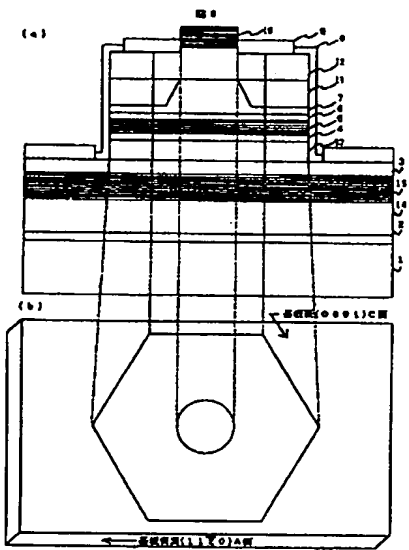
【図3】



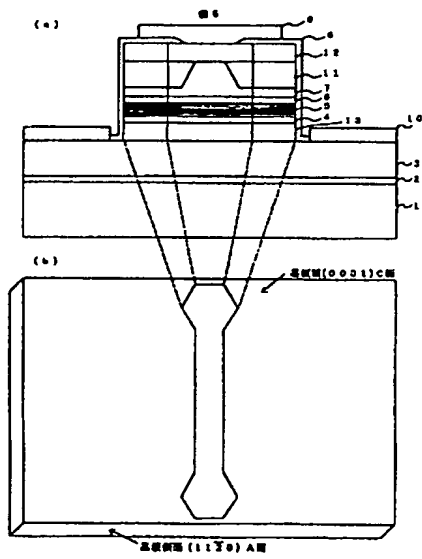
【図4】



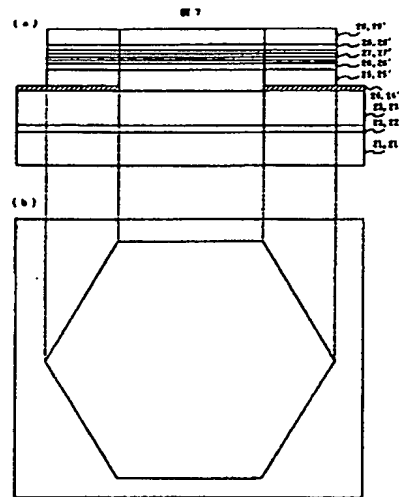
【図6】



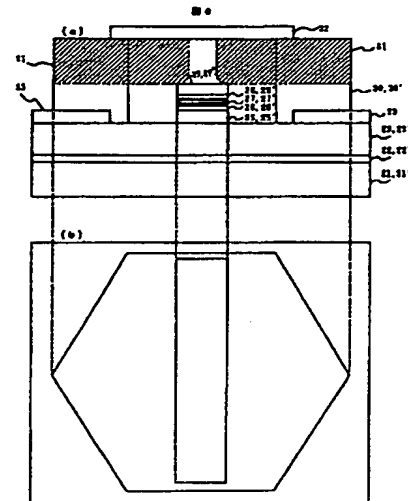
〔図5〕



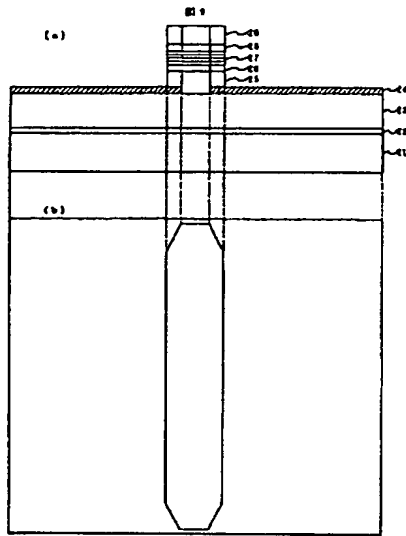
〔図7〕



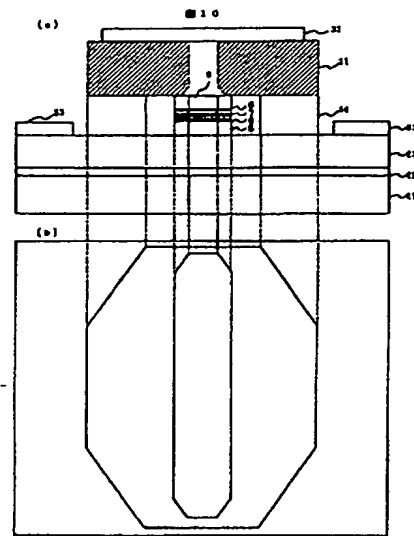
〔図8〕



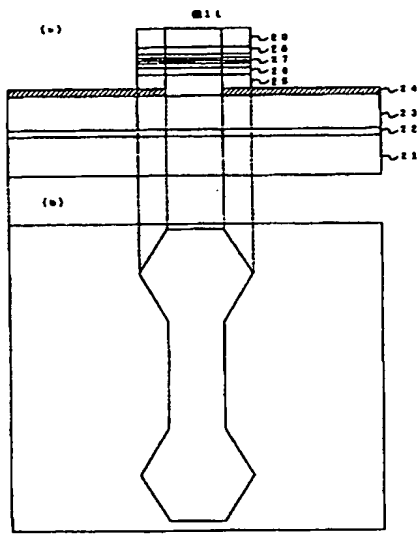
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

